

станів ОД; (4) оцінка мінімальної довжини репрезентативної навчальної вибірки (НВ) за методом динамічних довірчих інтервалів із умови прийнятних з практичних міркувань статистичної похибки та машинних затрат; (5) організація імітаційних та натурних випробувань СР з додержанням умов схеми Бернуллі.

**Опис алгоритму ДТА в рамках МФСВ.** Структурна схема алгоритму оптимізації процесу навчання в рамках МФСВ наведена на рис. 1.

Вхідні дані:  $\{XW[I, J, K]\}$  - НВ, де  $I$  - змінна числа ОР,  $J$  - змінна числа випробувань,  $K$  - змінна числа класів розпізнавання,  $\{ND[I]\}$ ,  $\{VD[I]\}$  - масиви нижніх та верхніх допусків на ОР відповідно,  $NM$  - мінімальна довжина репрезентативної НВ.

Вихідні дані:  $\{ET[K]\}$  - масив ЕВ,  $\{Dopt[K]\}$  - масив оптимальних радіусів РГП,  $\{EM[K]\}$  - масив максимальних значень КФЕ.

Блок 7 здійснює формування НВ, блок 8 - формування масиву ЕВ  $\{ET[K, I]\}$ , блок 9 - розбиття множини еталонних векторів на сусідні (найближчі) пари, між якими в процесі навчання будуються оптимальні в інформаційному сенсі РГП. Блок 10 реалізує процедуру INFK, яка призначена для обчислення інформаційного КФЕ. При виконанні умови блоку 11 обчислюється поточне значення КФЕ -  $E(d)$ , яке в блоці 12 порівнюється з попереднім  $E(d-1)$ . Якщо  $E(d) \geq E(d-1)$ , то  $d := d+1$ , навпаки  $EM := E(d-1)$  і  $Dopt := d-1$ .

**Прикінцеві положення.** Програмну систему (ПС), що реалізує алгоритм МФСВ, розроблено на алгоритмічній мові C++. Вона призначена для контролю та управління газоперекачувальною станцією ГПА-Ц-6,3А. Для тестування програмного забезпечення СР розроблена модель програмного імітатора потоку даних. ПС є об'єктно-орієнтованою, що дозволяє здійснювати її супровід та розширення функцій з мінімальними затратами. Головною функцією програми є обчислення інформаційного КФЕ СР. На рис. 2 наведено залежність КФЕ від кодової відстані  $d$  в процесі оптимізації РГП для класу  $X_1^0$ , що характеризує працездатний стан ОД. З рис. 2 видно, що  $d_1^* = 2$  при міжкласовій відстані  $d(x_1 \oplus x_2) = 4$ , де  $x_2$  - ЕВ найближчого (сусіднього) класу розпізнавання. При  $d=6$  КФЕ має найбільше значення, але воно знаходиться в неробочій області  $D_1 < 0,5$ . При  $d > 7$  КФЕ має сталі значення 0,5, оскільки в цій області відсутні реалізації як першого, так і другого класів.

**Висновки.** (1) Запропонований непараметричний метод автоматичної класифікації - МФСВ, на відміну від відомих мінімально-дистанційних алгоритмів, орієнтований не на оброблення даних, а на їх інформаційний аналіз, що дозволяє при розробленні спеціального програмного забезпечення СР реалізувати переваги об'єктно-орієнтованого програмування та здійснити оптимізацію параметрів навчання за інформаційним КФЕ системи, що підвищує достовірність розпізнавання. (2) МФСВ дозволяє розв'язувати як повну задачу автоматичної класифікації, так і окремі підзадачі ДТА, ФТА і кластер-аналізу в рамках єдиного алгоритму. (3) Інформаційний КФЕ є неоднозначним функціоналом точнісних характеристик СР, що обумовлює необхідність виділення в  $(l+1)$ -вимірному просторі оцінок рішень робочої області, в якій значення достовірностей знаходяться в інтервалі  $[0,5; 1]$ , де  $l$  - кількість альтернативних гіпотез.

## Література

1. Васильев В.В. Распознающие системы. Справочник. - Киев: Наукова думка, 1983, 422 с.



## Застосування гармонійного аналізу в діагностиці зорової системи методом реєстрації електроретинограм

БОРИС МАРЧЕНКО, РОМАН ТКАЧУК, МИХАЙЛО ПАЛАМАР,  
ОЛЕКСАНДР МАЛЯРЕНКО.

Приладобудівний інститут

282000 Тернопіль, вул. Руська 56  
Тел.: (0352) 25-3697, 22-8524

Borys Marchenko, Roman Tkachuk, Mykhajlo Palamar, Oleksandr Maliarenko. Harmonic Analysis Using in Human Visual System Diagnostics by Means of Electroretinograms Registration.

A method of human diagnostic system based on electroretinograms harmonic analysis is presented.

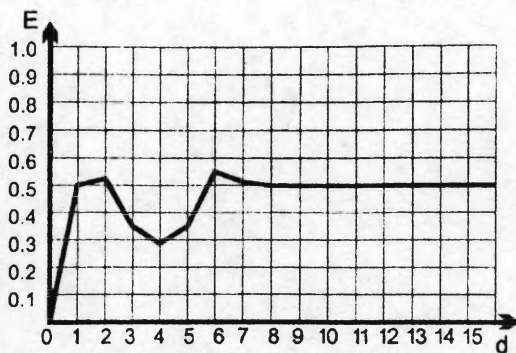


Рис. 2

Одержання ранньої діагностичної інформації про стан зорової системи і її окремих частин, незалежної від суб'єктивних відчуттів пацієнта, є досить актуальним завданням як для наукових досліджень по виявленню причин захворювань зору, так і для постійної лікарської практики.

Серед існуючих методів дослідження органів зору найбільшого поширення останнім часом набувають електрофізіологічні методи [1] завдяки своїй об'єктивності, можливостям одержання кількісних показників, накопичення, порівняння і зберігання результатів, що дає їм перевагу перед іншими. Зокрема, одним з найбільш інформативних вважається метод, побудований на знятті й аналізі електроретинограми (ЕРГ), яка є графічним вираженням сумарної біоелектричної реакції фоторецепторів та інших елементів сітківки ока на зовнішнє світлове подразнення. На практиці електроретинограма знімається шляхом вимірювання зміни електричного потенціалу рогівки ока після світлового спалаху за допомогою спеціального електроду. Світлові стимули можуть бути різної довжини хвилі, інтенсивності і частоти повторення. Може засвічуватися все поле сітківки (загальна ЕРГ) або окремі її зони, зокрема найважливіша для зору центральна частина сітківки - т.з. фовеа (локальна ЕРГ).

Величина електричних потенціалів, що фіксуються, є досить незначною - від одиниць міковольт до 0.5 мілівольт, причому процес реєстрації супроводжується значними стохастичними завадами як внутрішнього (залежно від психофізичного стану пацієнта), так і зовнішнього походження, які можуть значно перевищувати значення корисного сигналу. Все це ставить високі вимоги як до апаратури реєстрації, так і до методів оброблення й аналізу вимірювальної інформації.

Попередні дослідження ЕРГ з допомогою створеної комп'ютерної вимірювальної системи [4] дають можливість взяти в якості узагальненої моделі сигналу ЕРГ процес  $y(t)$ , що складається з інформативної, детермінованої для даного пацієнта, компоненти  $x(t)$  та випадкової складової  $\xi(t)$ :

$$y(t) = x(t) + \xi(t), \quad (1)$$

де  $t$  - час на проміжку спостереження  $[t_0, t_1]$ . За попередніми оцінками процес  $x(t)$  має енергетичний спектр, який лежить в проміжку 0-100 Гц, а енергетичний спектр процесу  $\xi(t)$  займає більш широкий частотний діапазон.

В якості моделі випадкової компоненти пропонується стаціонарний лінійний випадковий процес такого вигляду [2]:

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t - \tau) d\eta(\tau), \quad t \in [t_0, t_1], \quad (2)$$

де  $\varphi(s)$ ,  $s \in R$  - інтегрована в квадраті по  $s$  дійсна невід'ємна функція;  $\{\eta(\tau), \eta(0) = 0, \tau \in R\}$  - стохастично неперервний однорідний випадковий процес з незалежними приростами. Модель (2) дозволяє врахувати стохастичні властивості завад, які діють в процесі вимірювань, та є зручною у використанні завдяки тому, що для лінійних випадкових процесів існує загальна форма зображення їх характеристичних функцій. Одновимірна характеристична функція процесу  $\xi(t)$  в формі Леві має вигляд [3]

$$f(u) = \exp \left\{ i\mu \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(s) ds - \frac{\sigma^2 u^2}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi^2(s) ds + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ e^{iux\varphi(s)} - 1 - \frac{iux\varphi(s)}{1+x^2} \right] dL(x) ds \right\}, \quad (3)$$

де  $\mu$  та  $\sigma > 0$  - дійсні константи;  $L(x)$ ,  $x \in R$  - пуассонівська міра стрибків процесу  $\eta(\tau)$ .

Припускаємо, що часова послідовність  $x_n$ ,  $n = 0, N-1$ , яка одержана після дискретизації компоненти  $x(t)$  вихідного ЕРГ-сигналу, допускає зображення у вигляді ортогонального розкладу по системі def-функцій вигляду  $x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S_k \cdot e^{i \frac{2\pi}{N} kn}$ , де  $k$  - номер гармоніки, а коефіцієнти  $S_k$

визначаються формулою  $S_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i \frac{2\pi}{N} kn}$ .

Для діагностики використовуємо інтегральні ознаки - статистичні оцінки коефіцієнтів  $S_k$ , а також локальні ознаки - характерні точки на кривих ЕРГ. Щодо останніх, то для уникнення впливу на інформативну частину сигналу постійної складової та гармонік, вищих за 50 Гц. реалізації ЕРГ було профільовано, а саме: штучно занулено в частотній області всі спектральні складові за межами діапазону (0; 50) Гц та здійснено обернене перетворення в часову область.

Результати експерименту показали, що реалізації ЕРГ після фільтрації дозволяють точніше вимірювати загальноприйняті в лікарській практиці локальні ознаки, зокрема час і амплітуду хвиль "а" і "b", які широко використовуються.

### Література

1. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. Пер. с англ. - Москва: Мир, 1990, 239 с.
2. Марченко Б. Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиоэлектронике. - Киев: Наукова думка, 1973, 192 с.
3. Марченко Б. Г., Шербак Л. Н. Линейные случайные процессы и их приложения. - Киев: Наукова думка, 1975, 143 с.
4. Ткачук Р.А., Паламар М.І. Адаптивна комп'ютерна вимірювально-керуюча система для дослідження біопотенціалів ока // Тези доповіді на 3-й міжн. конф. "Контроль и управление в технических системах", Вінниця, 1995, с. 335-336.



### Технічна діагностика високовольтних вводів силових трансформаторів

БОРИС МОКІН, ВОЛОДИМИР ГРАБКО, ДІНЬ ТХАНЬ В'ЄТ

Технічний університет

286021 Вінниця, Хмельницьке шосе 95  
Тел.: (0432) 32-5718 Факс: (0432) 44-0731  
Електронна пошта: vstu@sovam.com

Борис Мокин, Владимир Грабко, Динь Тхань Вьет. Техническая диагностика высоковольтных вводов силовых трансформаторов.

От надежности работы вводов зависит и надежность работы силовых трансформаторов в целом. Для вводов герметичной конструкции характерно появление осадка на нижней фарфоровой крышке, что приводит к перекрытиям внутренней изоляции. В работе предложена математическая модель, позволяющая учитывать объем осадка по косвенным измерениям и предотвращать аварийный выход со строя вводов. Предложено также на основе теории нечетких множеств диагностирование вводов по традиционным измерениям в случаях, когда регламентированные правила не могут дать диагноз о состоянии вводов.

Економічні показники роботи енергосистем суттєво залежать від надійності обладнання, в тому числі і від силових трансформаторів, які є основними технологічними агрегатами підстанцій. Вводи є важливими вузлами силових трансформаторів. Від надійності роботи вводів суттєво залежить надійність роботи відповідного силового трансформатора. По статистиці, відсоток пошкоджень вводів серед вузлів силових трансформаторів найвищий — 27,7 %. Звідси витікає важливість контролю та діагностики вводів, особливо для потужних трансформаторів, оскільки відмова цього обладнання приводить до значних втрат електроенергії, що передається споживачам, і, значить, нанесення великого збитку народному господарству. В зв'язку з цим задача технічної діагностики трансформаторних вводів є актуальною.

На сьогодні залишається гострою проблема з вводами герметичних конструкцій напругою 110 кВ та більшою. Під робочою напругою в герметичних вводах виникають перекриття їх внутрішньої ізоляції, як правило, по поверхні нижньої фарфорової кришки від центрального стержня до заземленої з'єднувальної втулки. Механізм перекриття герметичних вводів по поверхні нижньої фарфорової кришки пов'язаний зі специфічним осадком, кількість якого головним чином залежить від температури масла у вводах та тривалості їх експлуатації. Чим більша ця кількість, тим більша ймовірність пошкодження вводів.

В роботі пропонується математична модель, яка дозволяє за вимірюваннями температури верхніх шарів трансформаторного масла у вводах та температури навколишнього середовища оцінювати кількість осаду та завчасно знімати той чи інший ввід із експлуатації у ремонт.

На основі цієї моделі запропонована мікропроцесорна система для діагностики вводів.

На практиці існує немало випадків, коли регламентовані правила, пов'язані з комплексом вимірів, не можуть дозволити зробити висновок про стан вводів. В роботі пропонується підхід із застосуванням теорії нечітких множин, який дозволяє поставити правильний діагноз.

